

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-177708

**(43)Date of publication of application : 30.06.1998**

(51)Int.Cl.

G11B 5/39

H01F 10/08

H01L 43/08

**(21)Application number : 08-334142**

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 13.12.1996

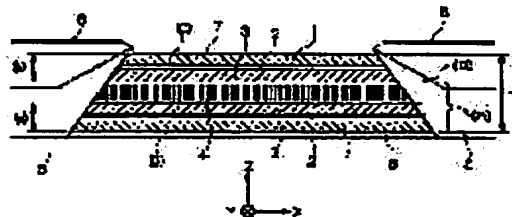
(72)Inventor : SAITO MASAJI

#### (54) SPIN VALVE TYPE THIN FILM ELEMENT

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To decrease the total film thickness and to improve the surface recording density by forming an antiferromagnetic layer of a specified alloy on a first multilayered film, then forming a second multilayered film thereon, and forming a conductive layer which gives a static current to the first and second multilayered films.

**SOLUTION:** This spin valve film has such a structure that an antiferromagnetic layer 4 is formed on a single spin valve layer (c) and another single spin valve film (b) is deposited while using the layer 4 as a common layer. As for the antiferromagnetic material, PtMn (platinum-manganese) alloy is preferable, and instead of PtMn alloy, Pt-Mn-X (wherein X is one of Ni, Pd, Rh, Ru, Ir, Cr, Fe and Co) or PdMn alloy can be used. The change rate of resistance and reproducing output of the thin film element are significantly higher compared to a conventional single or dual spin valve type element, and therefore, a high surface recording density can be expected.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.10.1999

**[Date of sending the examiner's decision of rejection]**

**[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]**

**[Date of final disposal for application]**

[Patent number] 3181525

[Date of registration] 20.04.2001

**[Number of appeal against examiner's decision of rejection]**

**[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]**

**[Date of extinction of right]**

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**CLAIMS**

---

**[Claim(s)]**

[Claim 1] In the spin bulb mold thin film which has the fixed magnetic layer by which magnetization is fixed in the fixed direction by exchange anisotropy association with an antiferromagnetism layer, and the free magnetic layer to which the direction of magnetization is changed by the leak field from a magnetic-recording medium The 1st multilayers by which the nonmagnetic conductive layer and the fixed magnetic layer continued, and the laminating was carried out on the free magnetic layer, It has the 2nd multilayers by which the nonmagnetic conductive layer and the free magnetic layer continued, and the laminating was carried out on the fixed magnetic layer. The spin bulb mold thin film which the laminating of said 2nd multilayers is carried out through the antiferromagnetism layer on said 1st multilayers, and is characterized by preparing the conductive layer which gives the stationary current to said the 1st multilayers and 2nd multilayers.

[Claim 2] In the spin bulb mold thin film which has the fixed magnetic layer by which magnetization is fixed in the fixed direction by exchange anisotropy association with an antiferromagnetism layer, and the free magnetic layer to which the direction of magnetization is changed by the leak field from a magnetic-recording medium The 1st multilayers by which the nonmagnetic conductive layer and the fixed magnetic layer continued, and the laminating was carried out on the free magnetic layer, The 2nd multilayers by which the nonmagnetic conductive layer and the free magnetic layer continued, and the laminating was carried out on the fixed magnetic layer, It has the 3rd multilayers to which a nonmagnetic conductive layer, free magnetic layer, and nonmagnetic conductive layer and a fixed magnetic layer consist of five layers by which the laminating was carried out on a fixed magnetic layer. The laminating of said 3rd multilayers is carried out through an antiferromagnetism layer on said 1st multilayers. The spin bulb mold thin film which the laminating of said 2nd magnetic layer is carried out through the antiferromagnetism layer on these 3rd multilayers, and is characterized by preparing the conductive layer which gives the stationary current to said the 1st multilayers, 2nd multilayers, and 3rd multilayers.

[Claim 3] In the spin bulb mold thin film which has the fixed magnetic layer by which magnetization is fixed in the fixed direction by exchange anisotropy association with an antiferromagnetism layer, and the free magnetic layer to which the direction of magnetization is changed by the leak field from a magnetic-recording medium It has the multilayers to which a nonmagnetic conductive layer, free magnetic layer, and nonmagnetic conductive layer and a fixed magnetic layer consist of five layers by which the laminating was carried out on a fixed magnetic layer. Under the fixed magnetic layer which the laminating of said multilayers is carried out to two or more steps through an antiferromagnetism layer, and turns into the lowest layer of the multilayers of the bottom, The spin bulb mold thin film which the laminating of the antiferromagnetism layer is carried out to the fixed magnetic layer bottom used as the maximum upper layer of the multilayers of the maximum upper case, and is characterized by preparing the conductive layer which gives the stationary current to said each multilayers.

[Claim 4] The spin bulb mold thin film according to claim 1 to 3 by which the bias layer which arranges the magnetization direction of a free magnetic layer in the magnetization direction of said fixed magnetic layer and the crossing direction is formed in the both-sides section of multilayers.

[Claim 5] An antiferromagnetism layer is a spin bulb mold thin film according to claim 1 to 4 formed with a PtMn (platinum-manganese) alloy.

[Claim 6] An antiferromagnetism layer is a spin bulb mold thin film according to claim 1 to 4 formed with a Pt-Mn-X (X is nickel, Pd, Rh, Ru, Ir, Cr, Fe, or Co) alloy.

[Claim 7] An antiferromagnetism layer is a spin bulb mold thin film according to claim 1 to 4 formed with a PdMn (palladium-manganese) alloy.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JP0 and NCIP1 are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DETAILED DESCRIPTION**

---

**[Detailed Description of the Invention]****[0001]**

**[Field of the Invention]** This invention relates to the spin bulb mold thin film which starts the spin bulb mold thin film from which electric resistance changes by the relation between the direction of magnetization of a fixed magnetic layer (pin magnetic layer), and the direction of the magnetization of a free magnetic layer influenced of an external magnetic field, improves the structure and the quality of the material of the spin bulb film, and raises detection sensitivity, and enabled it to correspond to densification record.

**[0002]**

**[Description of the Prior Art]** There are a spin bulb method, a multilayer (Multilayer) GMR method, etc. in the multilayer structure which demonstrates the huge magnetic-reluctance (GMR:Giant magnetoresistive) effectiveness. Drawing 5 is the sectional view showing a multilayer GMR component. The multilayer GMR component has from the bottom the structure where the laminating of the layer 9 and the nonmagnetic conductive layer 2 of a ferromagnetic ingredient was repeatedly carried out to many layers. In addition, a NiFe (nickel-iron) system alloy, a CoFe (cobalt-iron) system alloy, etc. are used for the layer 9 of said ferromagnetic ingredient, and, generally Cu (copper) is used for the nonmagnetic conductive layer 2.

**[0003]** if the laminating of the layer 9 of a ferromagnetic ingredient is carried out up and down through the nonmagnetic conductive layer 2 and the thickness of said nonmagnetic conductive layer 2 is especially formed by about 10-20Å — a RKKY interaction — the magnetization direction of the layer 9 of an up-and-down ferromagnetic ingredient — anti-parallel — a single domain — are-izing and it is arranged. With this multilayer GMR component, if the leak field from record media, such as a hard disk, is given, magnetization of the layer 9 of said ferromagnetic ingredient will leak, and it will change in the same direction as a field. Electric resistance changes with fluctuation of the magnetization direction of the layer 9 of said ferromagnetic ingredient, and the leak field from a magnetic-recording medium is detected by the electrical-potential-difference change based on this electric resistance value change.

**[0004]** By the way, the resistance rate of change of this multilayer GMR component becomes about about 10 - 30% for external magnetic fields to be thousands Oe(s) from dozens Oe(s). Resistance rate of change becomes very large because there are very many locations from which electronic dispersion is started. Moreover, although a very large external magnetic field is needed in order to pull out this resistance rate of change, this is because the magnetization direction of the layer 9 of a ferromagnetic ingredient serves as anti-parallel by the RKKY interaction and it is fixed firmly. In addition, when surface recording density was calculated from this resistance rate of change, it turned out that the surface recording density correspondence to 100 (Gb/in<sup>2</sup>) extent is possible. However, when the comparatively weak external magnetic field of Number Oe is given, it is checked that the resistance rate of change of a multilayer GMR component becomes smaller than the resistance rate of change of a spin bulb mold thin film.

**[0005]** Drawing 6 is the sectional view of a single spin bulb mold thin film. The spin bulb film which demonstrates giant magneto-resistance consists of the bottoms at four layers, the antiferromagnetism layer 4, the fixed magnetic layer (pin magnetic layer) 3, the nonmagnetic conductive layer 2, and the free magnetic layer 1. Moreover, drawing 7 is the sectional view of a dual spin bulb mold thin film. Focusing on the free magnetic layer 1, for the upper and lower sides, the laminating of the nonmagnetic conductive layers 2 and 2, the fixed magnetic layers (pin magnetic layer) 3 and 3, and the antiferromagnetism layers 4 and 4 is carried out, and the spin bulb film in a dual spin bulb mold thin film is constituted. Moreover, as shown in drawing 6 and drawing 7, the hard bias layers 5 and 5 are formed in the both sides of the spin bulb film. In addition, signs 6 and 7 are the substrate layers and protective layers which were formed by non-magnetic materials, such as Ta (tantalum), and a sign 8 is a conductive layer.

**[0006]** Said fixed magnetic layer 3 is formed in contact with said antiferromagnetism layer 4, said fixed magnetic layer 3 is single-domain-ized in the direction of Y by the exchange anisotropy field by the switched connection in an interface with said antiferromagnetism layer 4, and the direction of magnetization is fixed in the direction of Y. Said exchange anisotropy field is produced in the interface of said antiferromagnetism layer 4 and said fixed magnetic layer 3 by heat-treating giving a field. Moreover, it is influenced of the hard bias layer 5 magnetized in the direction of X, and the magnetization direction of said free magnetic layer 1 is arranged in the direction of X. Generating of a Barkhausen noise can be prevented by single-domain-izing the free magnetic layer 1 in the predetermined direction by the hard bias layer 5.

**[0007]** In addition, generally as the free magnetic layer 1 and a fixed magnetic layer 3, Cu (copper) film is used as

the same NiFe system alloy and same CoFe system alloy as the layer 9 of the ferromagnetic ingredient of a multilayer GMR component, and a nonmagnetic conductive layer 2. Moreover, as an antiferromagnetism ingredient which constitutes the antiferromagnetism layer 4, although the FeMn (iron-manganese) alloy film is common, said FeMn alloy film has the property in which switched connection cannot fully demonstrate in an interface with the fixed magnetic layer 3, if membranes are formed under the fixed magnetic layer 3. therefore — the dual spin bulb mold thin film from which the antiferromagnetism layers 4 and 4 serve as structure formed by the both sides of the fixed magnetic layer 3 and 3 top and the bottom — the antiferromagnetism layers 4 and 4 — the fixed magnetic layers 3 and 3 — receiving — the upper and lower sides — whichever it is formed in, it is necessary to use the antiferromagnetism ingredient which can acquire an exchange anisotropy field. In the former, it was supposed that a NiMn (nickel-manganese) alloy was usable as such an antiferromagnetism ingredient.

[0008] In these spin bulb mold thin film, if the leak field from record media, such as a hard disk, is given in the direction of Y, magnetization of the free magnetic layer 1 will change from X towards the direction of Y. If the magnetization direction of said free magnetic layer 1 changes, when the electron which is going to move to the layer of another side from layer of one of the two between the free magnetic layer 1 and the fixed magnetic layer 3 causes dispersion by the interface of the nonmagnetic conductive layer 2 and the free magnetic layer 1, or the interface of the nonmagnetic conductive layer 2 and the fixed magnetic layer 3, electric resistance will change and the leak field from a magnetic-recording medium will be detected by the electrical-potential-difference change based on change of this electric resistance. When the include angle of the direction of magnetization of the free magnetic layer 1 and the direction of magnetization of the fixed magnetic layer 3 becomes the largest (i.e., when it becomes anti-parallel), said electric resistance value shows maximum, and as for said electric resistance value, the minimum value is shown when the direction of magnetization of said free magnetic layer 1 and the direction of magnetization of the fixed magnetic layer 3 become the same. When the leak field from a record medium is given, as resistance rate of change [(the maximum electrical-potential-difference value-minimum electrical-potential-difference value) the /minimum electrical-potential-difference value] becomes large, the detection output of the thin film magnetic head becomes larger.

[0009] Moreover, as, as for said detection output, said stationary current becomes large also depending on the magnitude of the stationary current (sense current), said detection output becomes larger. However, if the current density which flows the free magnetic layer 1, the nonmagnetic conductive layer 2, and the fixed magnetic layer 3 is too large, a problem will arise in a fall, dependability, endurance of a detection output by the Joule's heat, etc., and the property of a spin bulb mold thin film will fall. It is supposed that it is  $3 \times 10^7$  (A/cm<sup>2</sup>) the upper limit of the stationary current which can keep good the property of a spin bulb mold thin film. In addition, the upper limit of the stationary current can be raised by increasing the total of the layer of the spin bulb film.

[0010] In a single spin bulb mold thin film, the locations from which the interface of the nonmagnetic conductive layer 2 and the free magnetic layer 1 and the interface of the nonmagnetic conductive layer 2 and the fixed magnetic layer 3 start one a \*\*\*\* and electronic dispersion at a time, respectively total two. The locations from which the interface of the nonmagnetic conductive layer 2 and the free magnetic layer 1 and the interface of the nonmagnetic conductive layer 2 and the fixed magnetic layer 3, on the other hand, start two \*\*\*\*s and electronic dispersion at a time, respectively by the dual spin bulb mold thin film as shown in drawing 5 total four. For this reason, compared with a single spin bulb mold thin film, resistance rate of change becomes [ the direction of a dual spin bulb mold thin film ] large. If the external magnetic field of Number Oe (oersted) is given, the resistance rate of change of said single spin bulb mold thin film magnetic head becomes about 3 - 9%, and it is checked that the resistance rate of change of said dual spin bulb mold thin film magnetic head becomes about 5 - 13%. Moreover, if surface recording density is calculated from said resistance rate of change, in a single spin bulb mold, the surface recording density correspondence to ten (Gb/in<sup>2</sup>) extent is possible, and the surface recording density correspondence to 20 (Gb/in<sup>2</sup>) extent is possible in a dual spin bulb mold.

[0011]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In order to correspond to densification record, it is important to raise surface recording density. It is required to make a playback output high, in order to raise said surface recording density, and in order to make said playback output high, it is required to make high the resistance rate of change which has said playback output and a proportional relation. If in the case of the multilayer GMR component shown in drawing 5 the external magnetic field of thousands Oe(s) is given as mentioned above, resistance rate of change will be made to about 30% in a peak price, but if an external magnetic field is very small, the resistance rate of change of a multilayer GMR component will become smaller than the resistance rate of change of a spin bulb mold thin film.

[0012] Furthermore, in the case of a multilayer GMR component, a hard bias layer cannot be prepared like a spin bulb mold thin film, and generating of a Barkhausen noise cannot be reduced. This is because electric resistance does not change but it becomes impossible to detect the leak field of a record medium, even if the magnetization direction of the layers of all the ferromagnetic ingredient will be arranged in the magnetization direction of said hard bias layer, therefore it will give an external magnetic field to a multilayer GMR component, if a hard bias layer is prepared.

[0013] Next, in the conventional spin bulb mold thin film, as mentioned above, in the dual spin bulb mold ( drawing 7 ), resistance rate of change becomes high from a single spin bulb mold ( drawing 6 ). The location of this where electronic dispersion takes place is because a single spin bulb mold 2-double-exists in a dual spin bulb mold. However, the resistance rate of change of a dual spin bulb mold does not become twice the resistance rate of change of a single spin bulb mold until.

[0014] As shown in drawing 7, the location where electronic distraction takes place in a dual spin bulb mold exists the four sum totals of the interface (B) of the free magnetic layer 1 and the nonmagnetic conductive layer 2 and an interface (C), the interface (A) of the fixed magnetic layer 3 and the nonmagnetic conductive layer 2, and an interface (D). On the other hand, as shown in drawing 6, the location where electronic dispersion takes place in a single spin bulb mold is only two places, an interface (A) and an interface (B). However, it is thought that electronic dispersion which takes place by the interface (B) of a dual spin bulb mold is weaker than electronic dispersion which takes place by the interface (B) of a single spin bulb mold. In the case of a dual spin bulb mold, this is because said free magnetic layer 1 of one layer has caused electronic distraction on the both sides of an interface (B) and an interface (C). Therefore, although the resistance rate of change of a dual spin bulb mold becomes larger than the resistance rate of change of a single spin bulb mold, it does not result by twice.

[0015] moreover, it is shown in drawing 7 — as — a dual spin bulb mold — as the antiferromagnetism layer 4 — the upper and lower sides of said antiferromagnetism layer 4 — whichever the laminating of the fixed magnetic layer 3 is carried out, it is desirable to use the antiferromagnetism ingredient which can generate an exchange anisotropy field. A NiMn alloy can be illustrated as such an antiferromagnetism ingredient. However, there are the following troubles in this conventional spin bulb mold thin film. If the NiMn system alloy film is used as an antiferromagnetism layer 4, in order to demonstrate effective switched connection between said NiMn system alloy film and the FeNi system alloy film (fixed magnetic layer 3), heat-treatment (annealing) at the comparatively high temperature of 250 degrees C or more is needed.

[0016] However, if hot heat treatment of 250 degrees C or more is performed, it will set to the interface of the free magnetic layer 1 and the fixed magnetic layer 3 which are formed by the NiFe alloy film, and the nonmagnetic conductive layer 2 currently formed by Cu. Diffusion of a metallic element occurs, the magneto-resistive effect by the electronic diffusion by the interface of the free magnetic layer 1 and the nonmagnetic conductive layer 2 and the interface of the fixed magnetic layer 3 and the nonmagnetic conductive layer 2 is affected, and there is a problem to which the resistance rate of change to an external magnetic field falls. Moreover, in order to correspond to densification record, it is also important to make the magnetic gap length  $G_l$  small at the same time it raises surface recording density, but if an antiferromagnetism layer is formed by the NiMn system alloy film, and thickness of said antiferromagnetism layer is not made into about hundreds of Å, a good exchange anisotropy field cannot be acquired. Therefore, it cannot avoid that thickness dimension  $h'$  of the multilayers shown in drawing 5 becomes large, and the magnetic gap length  $G_l$  cannot be made small. Incidentally, the thickness of the free magnetic layer 1, the nonmagnetic conductive layer 2, and the fixed magnetic layer 3 is about 10Å of numbers, respectively.

[0017] The multilayer GMR component and the conventional single spin bulb mold thin film of the former [ this invention ], Solve the trouble of a dual spin bulb mold thin film, and resistance rate of change sufficient also by the small external magnetic field is obtained compared with a multilayer GMR component. It aims at offering the spin bulb mold thin film which is high sensitivity and can obtain a high detection output to a small external magnetic field as can obtain still bigger resistance rate of change than a single spin bulb mold thin film and a dual spin bulb mold thin film.

[0018] Moreover, by this invention's being for solving the above-mentioned conventional technical problem, and forming an antiferromagnetism layer with a PtMn (platinum-manganese) alloy etc. It can be made to make low heat treatment temperature for demonstrating the switched connection by the antiferromagnetism layer, and even if it moreover makes thickness of an antiferromagnetism layer small, it aims at offering the spin bulb mold thin film in which the formation of a small gap is possible, as an effective exchange anisotropy field can be acquired.

[0019]

[Means for Solving the Problem] In the spin bulb mold thin film which has the fixed magnetic layer by which the 1st this invention is fixed in the direction where magnetization is fixed by exchange anisotropy association with an antiferromagnetism layer, and the free magnetic layer to which the direction of magnetization is changed by the leak field from a magnetic-recording medium The 1st multilayers by which the nonmagnetic conductive layer and the fixed magnetic layer continued, and the laminating was carried out on the free magnetic layer, It has the 2nd multilayers by which the nonmagnetic conductive layer and the free magnetic layer continued, and the laminating was carried out on the fixed magnetic layer. The laminating of said 2nd multilayers is carried out through the antiferromagnetism layer on said 1st multilayers, and it is characterized by preparing the conductive layer which gives the stationary current to said the 1st multilayers and 2nd multilayers.

[0020] Said 1st invention is shown in drawing 1. This spin bulb mold thin film has the structure where shared the antiferromagnetism layer and the laminating of spin bulb film (b) of a single mold was carried out on the spin bulb film (Ha) of a single mold. For this reason, the resistance rate of change of this spin bulb mold thin film becomes higher than the resistance rate of change (3 – 9%) of a single spin bulb mold thin film ( drawing 6 ), and becomes higher than the resistance rate of change (5 – 13%) of a dual spin bulb mold thin film ( drawing 7 ). Moreover, since the upper limit of the stationary current can be raised, a magnetic detection output higher than a single spin bulb mold thin film and a dual spin bulb mold thin film is expectable.

[0021] In the spin bulb mold thin film which has the fixed magnetic layer by which the 2nd this invention is fixed in the direction where magnetization is fixed by exchange anisotropy association with an antiferromagnetism layer, and the free magnetic layer to which the direction of magnetization is changed by the leak field from a magnetic-recording medium The 1st multilayers by which the nonmagnetic conductive layer and the fixed magnetic layer continued, and the laminating was carried out on the free magnetic layer, The 2nd multilayers by which the nonmagnetic conductive layer and the free magnetic layer continued, and the laminating was carried out on the fixed

magnetic layer, It has the 3rd multilayers to which a nonmagnetic conductive layer, free magnetic layer, and nonmagnetic conductive layer and a fixed magnetic layer consist of five layers by which the laminating was carried out on a fixed magnetic layer. The laminating of said 3rd multilayers is carried out through an antiferromagnetism layer on said 1st multilayers. The laminating of said 2nd magnetic layer is carried out through the antiferromagnetism layer on these 3rd multilayers, and it is characterized by preparing the conductive layer which gives the stationary current to said the 1st multilayers, 2nd multilayers, and 3rd multilayers.

[0022] Said 2nd invention is shown in drawing 2 . This spin bulb film has the structure where shared the antiferromagnetism layer on the spin bulb film (Ha) of a single mold, and the laminating of spin bulb film (b) of a dual mold was carried out, and shared the antiferromagnetism layer and the laminating of spin bulb film (b) of a single mold was further carried out on said spin bulb film (b). Therefore, the resistance rate of change of this spin bulb mold thin film becomes higher than the spin bulb component of a dual mold. Moreover, the playback output of this spin bulb mold thin film can expect more than about 3 times or it of the playback output of a single spin bulb mold thin film that resistance rate of change becomes high and by raising the upper limit of the stationary current.

[0023] In the spin bulb mold thin film which has the fixed magnetic layer by which the 3rd this invention is fixed in the direction where magnetization is fixed by exchange anisotropy association with an antiferromagnetism layer, and the free magnetic layer to which the direction of magnetization is changed by the leak field from a magnetic-recording medium It has the multilayers (the 3rd multilayers) to which a nonmagnetic conductive layer, free magnetic layer, and nonmagnetic conductive layer and a fixed magnetic layer consist of five layers by which the laminating was carried out on a fixed magnetic layer. Under the fixed magnetic layer which the laminating of said multilayers is carried out to two or more steps through an antiferromagnetism layer, and turns into the lowest layer of the multilayers of the bottom, The laminating of the antiferromagnetism layer is carried out to the fixed magnetic layer bottom used as the maximum upper layer of the multilayers of the maximum upper case, and it is characterized by preparing the conductive layer which gives the stationary current to said each multilayers.

[0024] The 3rd above-mentioned invention is shown in drawing 3 . This is the configuration where the antiferromagnetism layer was shared for spin bulb film (b) of a dual mold between two or more step pile and each dual type of spin bulb film. The resistance rate of change of this spin bulb mold thin film becomes higher than the resistance rate of change of the conventional dual mold spin bulb thin film, and since the playback output of this spin bulb mold thin film can raise the upper limit of the stationary current, it can expect the more than twice of the playback output of a dual mold spin bulb thin film that resistance rate of change becomes high.

[0025] In the 1st thru/or the 3rd invention, all moreover, by exchange anisotropy association with an antiferromagnetism layer Since it is that from which magnetization of a fixed magnetic layer is fixed, the direction of magnetization of a free magnetic layer changes with the external magnetic fields like the leak field from a magnetic-recording medium, and resistance rate of change is obtained, the conventional single spin bulb mold and a dual spin bulb mold — the same — several — resistance change is caused by the field of  $O_e$  — it can make — several 10— if the external magnetic field of thousands  $O_e(s)$  is not given, it is practical from the multilayer GMR component which cannot obtain resistance change.

[0026] In addition, in the spin bulb mold thin film of this invention mentioned above, it is desirable to form in the both-sides section of the multilayers of the spin bulb film the bias layer which arranges the magnetization direction of a free magnetic layer in the direction which intersects said fixed magnetic layer. Generating of a Barkhausen noise can be controlled by a hard bias layer being formed. The thin film which the bias layer was prepared [ thin film ] and reduced the Barkhausen noise can be used for the magnetic head which detects the leak field from magnetic-recording media, such as a hard disk. Moreover, in this invention, what does not surely need to prepare a bias layer and does not have a bias layer can be used as a good magnetometric sensor etc. without caring about the effect of a Barkhausen noise.

[0027] Moreover, although being formed with a PtMn (platinum-manganese) alloy is desirable as for an antiferromagnetism layer, it may replace with said PtMn alloy and you may form with a Pt-Mn-X (correcting, X is nickel, Pd, Rh, Ru, Ir, Cr, Fe, or Co) alloy or a PdMn alloy.

[0028] If the alloy film or PdMn alloy film of a PtMn system is used as said antiferromagnetism layer, exchange anisotropy association can be performed on both sides when membranes are formed in the time of a fixed magnetic layer being formed on an antiferromagnetism layer, and the bottom, and the magnetization of a fixed magnetic layer in which an antiferromagnetism layer is located up and down can be fixed. Furthermore, the heat treatment temperature after membrane formation can acquire at least 230 degrees C or less of sufficient exchange anisotropy fields. Therefore, in said heat treatment, diffusion by the interface of a nonmagnetic conductive layer, and a fixed magnetic layer and a free magnetic layer can be prevented, and high resistance rate of change can be obtained to an external magnetic field.

[0029] Moreover, as for the antiferromagnetism layer formed with said ingredient, it is checked that it can acquire the exchange anisotropy field of 300 $O_e$  (oersted) extent with about 100A even if thickness is very small. Therefore, it is possible to thin-shape-ize the spin bulb film of multilayer structure.

[0030] Moreover, the PtMn alloy film is excellent in corrosion resistance compared with the FeMn alloy film or the NiMn alloy film, and also in various kinds of solvents and cleaning agents in the production process of a spin bulb mold thin film, corrosion did not advance at all but it is chemically stable [ corrosion ] also in actuation of the thin film magnetic head under a harsh environment.

[0031] Furthermore, even if it is very stable thermally, blocking temperature is high at about 380 degrees C and the temperature at the time of actuation of the thin film magnetic head is therefore high, the exchange anisotropy field

acquired when the PtMn alloy film and a fixed magnetic layer touched can generate the stable exchange anisotropy field, and reading precision is stabilized.

[0032] In this invention, thickness of an antiferromagnetism layer can be made smaller than before by using the PtMn alloy film for the antiferromagnetism ingredient in an antiferromagnetism layer. Therefore, even if it increases the total of the layer of the spin bulb film, the comprehensive thickness of said spin bulb film does not become extremely large, and narrow-ization of the magnetic gap length  $G_l$  can be realized.

[0033]

[Embodiment of the Invention] Drawing 1 is the sectional view showing the structure of the spin bulb mold thin film of this invention. This thin film is prepared in the trailing side edge section of the slider formed in a hard disk drive unit etc., the migration direction of magnetic-recording media, such as a hard disk, is a Z direction, and the direction of the leak field from a magnetic-recording medium is the direction of Y. The substrate layer 6 formed by non-magnetic materials, such as Ta (tantalum), is formed in the bottom of drawing 1. On this substrate layer 6, the laminating of the spin bulb film which consists of seven layers is carried out. In addition, a sign 7 is the protective layer formed by Ta.

[0034] Said spin bulb film The laminating of the nonmagnetic conductive layer 2 formed by the free magnetic layer 1 formed with the NiFe (nickel-iron) system alloy, Cu (copper), etc., the fixed magnetic layer 3 formed with the NiFe system alloy, and the antiferromagnetism layer 4 formed with the PtMn (platinum-manganese) alloy is continuously carried out from the bottom. On it The laminating of the fixed magnetic layer 3, the nonmagnetic conductive layer 2, and the free magnetic layer 1 is carried out continuously, and they are constituted. In the above, on the free magnetic layer 1, the nonmagnetic conductive layer 2 and the fixed magnetic layer 3 continue, and a laminating is carried out. Three layers The 1st multilayers (a), The 2nd multilayers (b), then said spin bulb film have the structure where shared the antiferromagnetism layer 4 and the laminating of the 2nd multilayers (b) was carried out on the 1st multilayers (a) in three layers by which the nonmagnetic conductive layer 2 and the free magnetic layer 1 continued, and the laminating was carried out on the fixed magnetic layer 3.

[0035] moreover, when the actual thin film magnetic head is constituted The lower gap layer (not shown) of a non-magnetic material is formed on the lower shielding layer (not shown) of the magnetic material of high permeability. Each class shown in drawing 1 is formed on this lower gap layer, and an up shielding layer (not shown) is further formed on it with the up gap layer (not shown) and the magnetic material of high permeability of a non-magnetic material. And the magnetic gap length  $G_l$  is determined by spacing of said lower shielding layer and said up shielding layer. after the laminating of said antiferromagnetism layer 4 and fixed magnetic layer 3 is carried out, an exchange anisotropy field obtains by the interface of said both layers by heat-treating in a field in the direction of Y (annealing treatment) — having — the direction of magnetization of said fixed magnetic layer — the direction of y — a single domain — it is-izing and fixed. In addition, said fixed magnetic layer 3 may be formed with Co (cobalt), a Fe-Co (iron-cobalt) alloy, and a Fe-Co-nickel (iron-cobalt-nickel) alloy.

[0036] After membranes are formed by the spatter and the multilayers from the substrate layer 6 to a protective layer 7 are etched into a predetermined cross-section configuration, the hard bias layer 5 which gives the vertical bias field of the direction of X to said free magnetic layer 1 is formed. Said hard bias layer 5 is magnetized in the direction of X, and magnetization of the free magnetic layer 1 is arranged in the direction of X by the field given from this hard bias layer 5. Generating of a Barkhausen noise can be reduced by forming this hard bias layer 5. Moreover, the conductive layers 8 and 8 formed of W (tungsten), Cu (copper), etc. on the hard bias layers 5 and 5 are formed.

[0037] Thus, in the formed spin bulb mold thin film, if the stationary current (sense current) is given to the free magnetic layer 1, the nonmagnetic conductive layer 2, and the fixed magnetic layer 3 from a conductive layer 8 and a field is moreover given in the direction of Y from a record medium, the direction of magnetization of the free magnetic layer 1 will change from X towards the direction of Y. At this time, a lifting and electric resistance change [ the electron which is going to move to another side ] dispersion from layer of one of the two among the free magnetic layer 1 and the fixed magnetic layer 3 by the interface of the nonmagnetic conductive layer 2 and the free magnetic layer 1, or the interface of the nonmagnetic conductive layer 2 and the fixed magnetic layer 3. Therefore, the stationary current can change and a detection output can be obtained.

[0038] As mentioned above, the spin bulb film in drawing 1 consists of seven layers, and this is the same as the total of the layer of the spin bulb film in the dual spin bulb mold thin film shown in drawing 5. However, the comprehensive thickness  $h_1$  of the spin bulb film of seven layers shown in drawing 1 is smaller than comprehensive thickness  $h'$  of the spin bulb film of seven layers of drawing 5. This is because only one layer is formed by drawing 1 to two-layer formation of the large antiferromagnetism layer 4 of thickness being carried out in drawing 5 compared with the thickness of the free magnetic layer 1, the nonmagnetic conductive layer 2, and the fixed magnetic layer 3. When the comprehensive thickness  $h_1$  becomes small, narrow-ization of the magnetic gap length  $G_l$  is realizable.

[0039] Moreover, since the spin bulb film of drawing 1 has the structure where shared the antiferromagnetism layer 4 and the laminating of spin bulb film (b) of another single mold was carried out on the spin bulb film ( $H_a$ ) of a single mold, The resistance rate of change and playback output of a spin bulb mold thin film of drawing 1 It becomes larger enough than the resistance rate of change (3 - 9%) and playback output of a single spin bulb mold thin film, and the bigger resistance rate of change than the resistance rate of change (5 - 13%) and playback output of the dual spin bulb mold thin film further shown in drawing 5 can be expected.

[0040] By the spin bulb film in drawing 1, two layers of free magnetic layers 1 are formed, and each free magnetic layer 1 forms the nonmagnetic conductive layer 2, an interface (B), and (C). On the other hand, by the spin bulb film



of drawing 5, the free magnetic layer 1 forms the nonmagnetic conductive layer 2, an interface (B), and (C) by one layer, and the free magnetic layer 1 of one layer is participating in both electronic dispersion in an interface (B) and (C). For this reason, it can predict that electronic dispersion which takes place by the interface (B) of drawing 1 and (C) is strong compared with electronic dispersion which takes place by the interface (B) of drawing 5, and (C), therefore the resistance rate of change of the spin bulb mold thin film in drawing 1 becomes large compared with the resistance rate of change of the dual spin bulb mold thin film of drawing 5. Moreover, when surface recording density was calculated from the upper limit of resistance rate of change and the stationary current, it turned out that the surface recording density of the spin bulb mold thin film in drawing 1 can expect more than 20 (Gb/in<sup>2</sup>).

[0041] Drawing 2 is the front view showing the structure of the spin bulb film by the 2nd operation gestalt of this invention. In addition, drawing 2 shows the spin bulb film after membrane formation, as drawing 1 explained, said spin bulb film is etched into a predetermined configuration next, and the hard bias layer 5 and a conductive layer 8 are formed. Moreover, in drawing 2, the substrate film (sign 6 of drawing 1) and a protective coat (sign 7 of drawing 1) are also omitted. The spin bulb film shown in drawing 2 consists of 13 layers. The 2nd multilayers (b) are prepared for the 1st multilayers (a) explained to the lower part by drawing 1 in the upper part. Moreover, the 3rd multilayers (c) of 5 layer structures to which the laminating of the fixed magnetic layer 3, the nonmagnetic conductive layer 2, the free magnetic layer 1, the nonmagnetic conductive layer 2, and the fixed magnetic layer 3 was carried out from the bottom are prepared. And the laminating of the 3rd multilayers (c) is carried out through the antiferromagnetism layer 4 on the 1st multilayers (a), and the laminating of the 2nd multilayers (b) is further carried out through the antiferromagnetism layer 4 on it.

[0042] The fixed magnetic layer 3 of each multilayers (a), (b), and (c) is surely formed in contact with the top face or inferior surface of tongue of the antiferromagnetism layer 4, and magnetization of said fixed magnetic layer 3 is single-domain-ized in the direction of Y by the exchange anisotropy field generated in an interface with said antiferromagnetism layer 4. Moreover, magnetization of the free magnetic layer 1 is arranged by the bias field of the hard bias layer 5 in the direction of X which intersects the magnetization direction of said fixed magnetic layer 3. The PtMn alloy film is used for the antiferromagnetism ingredient which constitutes the antiferromagnetism layer 4. By using the PtMn alloy film as an antiferromagnetism layer 4, the heat treatment temperature after membrane formation can acquire at least 230 degrees C or less of sufficient exchange anisotropy fields, and becomes possible [acquiring the exchange anisotropy field of 300Oe (oersted) extent as for about 100Å] about the thickness of said antiferromagnetism layer 4. Since thickness of the antiferromagnetism layer 4 is made to about 100Å, the comprehensive thickness h2 of the spin bulb film does not become extremely large. In addition, also as for the antiferromagnetism layer 4 shown in drawing 1, being formed by the PtMn alloy film is desirable, and it can also make small thickness h1 shown in drawing 1 by using this antiferromagnetism ingredient.

[0043] The spin bulb film of drawing 2 has the structure where shared the antiferromagnetism layer 4 on the spin bulb film (Ha) of a single mold, and the laminating of spin bulb film (b) of a dual mold was carried out, and shared the antiferromagnetism layer 4 and the laminating of spin bulb film (b) of a single mold was further carried out on said spin bulb film (b). That is, there is a total of eight locations where, as for the interface of the free magnetic layer 1 and the nonmagnetic conductive layer 2 and the interface of the fixed magnetic layer 3 and the nonmagnetic conductive layer 2, those with four place and electronic dispersion take place, respectively.

[0044] For this reason, the resistance rate of change and playback output of a spin bulb mold thin film in drawing 2 can expect about about 2 times of about about 4 times of the resistance rate of change of the conventional single spin bulb mold thin film, and a playback output, the resistance rate of change of the conventional dual spin bulb mold thin film, and a playback output. Moreover, when possible surface recording density was calculated from the upper limit of resistance rate of change and the stationary current, it turned out that the surface recording density of the spin bulb mold thin film which used the spin bulb film in drawing 2 can expect 50 (Gb/in<sup>2</sup>) extent by the peak price.

[0045] Drawing 3 is the front view showing the structure of the spin bulb film by the 3rd operation gestalt of this invention. In addition, drawing 3 shows the spin bulb film after membrane formation, as drawing 1 explained, said spin bulb film is etched into a predetermined configuration next, and the hard bias layer 5 and a conductive layer 8 are formed. Moreover, in drawing 3, the substrate film 6 and a protective coat 7 are also omitted. The 3rd multilayers (c) of 5 layer structures which explained the spin bulb film shown in drawing 3 in drawing 2 are prepared in two or more steps. The antiferromagnetism layer 4 is pinched between each multilayers (c), the antiferromagnetism layer 4 is formed in the up-and-down top face and up-and-down inferior surface of tongue of the fixed magnetic layer 3 of multilayers, respectively, and, on the whole, said antiferromagnetism layer 4 has the structure where the laminating of the multilayers (c) was carried out continuously 3 times, 4 times.

[0046] The antiferromagnetism layer 4 is formed with the PtMn alloy, and the thickness of said antiferromagnetism layer 4 has become about 100Å. For this reason, the comprehensive thickness h3 of the spin bulb film is not extremely large. Moreover, said spin bulb film shares the antiferromagnetism layer 4 to the spin bulb film (b) up of a dual mold, the laminating of spin bulb film (b) of a dual mold is carried out, it shares the antiferromagnetism layer 4 on said spin bulb film (b) further, and the laminating of spin bulb film (b) of a dual mold is carried out. That is, it has structure to which the laminating of spin bulb film (b) of three dual molds was carried out continuously.

[0047] Therefore, there is a total of 12 locations where, as for the interface of the free magnetic layer 1 and the nonmagnetic conductive layer 2 and the interface of the fixed magnetic layer 3 and the nonmagnetic conductive layer 2, those with six place and electronic dispersion take place, respectively. For this reason, the resistance rate of change and playback output of a spin bulb mold thin film in drawing 3 are quite higher than the resistance rate of change and playback output of the conventional single spin bulb mold thin film and a dual spin bulb mold thin film.



Moreover, if the resistance rate of change of the spin bulb mold thin film shown in drawing 3 is spin bulb film shown in drawing 3 to the external magnetic field of thousands Oe extent having been required for in order to pull out high resistance rate of change in the case of a multilayer GMR component although it becomes lower than the resistance rate of change of a multilayer GMR component, it can pull out comparatively high resistance rate of change by the very small external magnetic field.

[0048] The reason for the ability to obtain high resistance rate of change by the very small external magnetic field is because magnetization of the free magnetic layer 1 is not being fixed firmly, therefore, the direction of magnetization of a small external magnetic field of the free magnetic layer 1 is changed, an electric resistance value changes by the relation between fluctuation of the magnetization in this free magnetic layer 1, and the fixed magnetization direction of the fixed magnetic layer 3, and the leak field from a magnetic-recording medium is detected by the electrical-potential-difference change based on this electric resistance value. Moreover, in the case of the multilayer GMR component, it was impossible to have prepared a hard bias layer, but said hard bias layer can be prepared in the spin bulb film shown in drawing 3, and generating of a Barkhausen noise can be reduced. Moreover, in this invention, in order to raise resistance rate of change and a playback output further, it is possible to carry out the laminating of some layers spin bulb film (b) of a dual mold further on the spin bulb film shown in drawing 3.

[0049] However, there is an upper limit in the comprehensive thickness  $h_3$  of said spin bulb film, and it is determined by spacing between the lower shielding layers (not shown) and up shielding (not shown) which were decided beforehand. Then, if the laminating of spin bulb film (b) of a dual mold is further carried out to the spin bulb film shown in drawing 3 to the upper limit of spacing of lower shielding and up shielding, it is possible to heighten further the resistance rate of change and playback output of said spin bulb film. In addition, if possible surface recording density is calculated from the upper limit of resistance rate of change and the stationary current, the surface recording density of the spin bulb mold thin film which used the spin bulb film in drawing 3 turns into 50 (Gb/in<sup>2</sup>) to 100 (Gb/in<sup>2</sup>) extent, and can expect surface recording density comparable as a multilayer GMR component.

[0050]

[Example] The example about the switched connection of the antiferromagnetism ingredient which forms the antiferromagnetism layer 4 in below, and the ferromagnetic ingredient which forms the fixed magnetic layer 3 is explained. They are DC magnetron sputtering and RF conventional spatter (it formed on (Silicon Si) / alumina (aluminum 2O<sub>3</sub>) substrate.) about the multilayers of the structure indicated below first. They are five kinds of multilayers by which the PtMn film with which a presentation ratio becomes Pt50 atom % (at%) and Mn50 atom % (at%) is used for an antiferromagnetism layer, membranes are formed in order of Ta/Co(30A)/PtMn(X) / Ta from under \*\*, and the thickness X of PtMn is constituted from 100 and 150,200,300,500 (angstrom).

\*\* They are five kinds of multilayers by which membranes are formed from the bottom in order of Ta/PtMn(X) / Co(30A) / Ta, and the thickness X of PtMn is constituted from 100 and 150,200,300,500 (angstrom).

[0051] Next, they are five kinds of multilayers by which a presentation ratio uses the NiMn film used as nickel50 atom % (at%) and Mn50 atom % (at%) for an antiferromagnetism layer, under \*\* are consisted of in order of Ta/Co(30A)/NiMn(X) / Ta, and the thickness X of NiMn is constituted from 100, 150, 200, 300, 500, and (angstrom).

\*\* They are five kinds of multilayers by which membranes are formed from the bottom in order of Ta/NiMn(X) / Co(30A) / Ta, and the thickness X of NiMn is constituted from 100, 150, 200, 300, 500, and (angstrom).

[0052] In said multilayers, in order to obtain the switched connection between an antiferromagnetism ingredient and Co film of a ferromagnetic ingredient, heat treatment was performed at the temperature of 230 degrees C for 4 hours. VSM with a vacuum heating device performed measurement of an exchange anisotropy field ( $H_{ex}$ ). In addition, each resistivity of the PtMn film used as an antiferromagnetism layer and the NiMn film was 200 ( $\mu\Omega$  and cm) extent.

[0053] Drawing 4 is a graph which shows the relation between the thickness of the PtMn film and the NiMn film, and an exchange anisotropy field ( $H_{ex}$ ). As shown in drawing, when the thickness of the PtMn film becomes large, it turns out that an exchange anisotropy field ( $H_{ex}$ ) also becomes large. Moreover, compared with the case where the direction at the time of forming the PtMn film in the bottom of Co film forms the PtMn film on Co film, the exchange anisotropy field is a little large. Moreover, even if the thickness of the PtMn film was about 100A, it was checked that about 300 Oe(s) (oersted) and a comparatively large exchange anisotropy field can be acquired.

[0054] On the other hand, even if it enlarges thickness in the case of the NiMn film, it is still very small and, as for an exchange anisotropy field ( $H_{ex}$ ), it turns out with the heat treatment temperature of 230 degrees C that the NiMn film cannot be used. If heat treatment temperature is 250 degrees C or more when the NiMn film is used, it is checked that the same behavior as the curve of the PtMn film shown in drawing 4 is shown. However, if it becomes 250 degrees C or more, since the problem that a metallic element is spread in an interface with the nonmagnetic conductive layer 2, the fixed magnetic layer 3, and the free magnetic layer 1 will arise, it is required to make heat treatment temperature into about 230 degrees C.

[0055] Moreover, in this experiment, although Co film was used for the fixed magnetic layer 3, even if it replaces with Co film and uses the NiFe film, the same result as this experiment can be obtained. If the PtMn film is used as an antiferromagnetism layer by the above, even the heat treatment temperature of about 230 degrees C can acquire an exchange anisotropy field, and it is possible to acquire the exchange anisotropy field of about 300 Oe(s) especially for thickness as for about 100A.

[0056]

[Effect of the Invention] According to this invention explained in full detail above, by being formed with the PdMn alloy in which an antiferromagnetism layer has a PtMn alloy, or this and a property of the same kind, or a Pt-Mn-X

(X being nickel, Pd, Rh, Ru, Ir, Cr, Fe, or Co) alloy, it is comparatively low heat treatment temperature, and even if it moreover makes thickness small comparatively, an effective exchange anisotropy field can be acquired.

[0057] If the PtMn film is used for an antiferromagnetism layer even if it makes [ more ] the total of the layer of the spin bulb film which improves the structure of the conventional single spin bulb mold thin film, a dual spin bulb mold thin film, and a multilayer mold GMR component, and demonstrates a huge magnetic effect than before, comprehensive thickness of said spin bulb film can be made small, therefore narrow-ization of the magnetic gap length GI can be realized.

[0058] Moreover, if the total of the layer of the spin bulb film is increased and the location where electronic dispersion takes place is increased, resistance rate of change and a playback output can be enlarged, therefore surface recording density can be raised.

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

**DESCRIPTION OF DRAWINGS**

---

**[Brief Description of the Drawings]**

**[Drawing 1]** The sectional view of the spin bulb mold thin film by the 1st gestalt of this invention,

**[Drawing 2]** The front view of the spin bulb film by the 2nd gestalt of this invention,

**[Drawing 3]** The front view of the spin bulb film by the 3rd gestalt of this invention,

**[Drawing 4]** The graph which shows the relation between the thickness of the PtMn film or the thickness of the NiMn film, and an exchange anisotropy field,

**[Drawing 5]** The sectional view of a multilayer GMR component,

**[Drawing 6]** The sectional view of a single spin bulb mold thin film,

**[Drawing 7]** The sectional view of a dual spin bulb mold thin film,

**[Description of Notations]**

1 Free Magnetic Layer

2 Nonmagnetic Conductive Layer

3 Fixed Magnetic Layer

4 Antiferromagnetism Layer

5 Hard Bias Layer

6 Substrate Layer

7 Protective Layer

8 Conductive Layer

h1, h2, h3 (spin bulb film) Comprehensive thickness

---

[Translation done.]

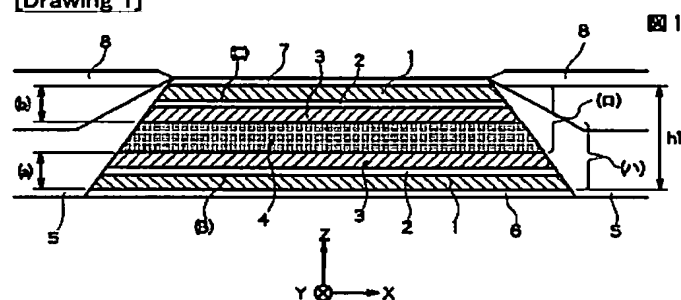
## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

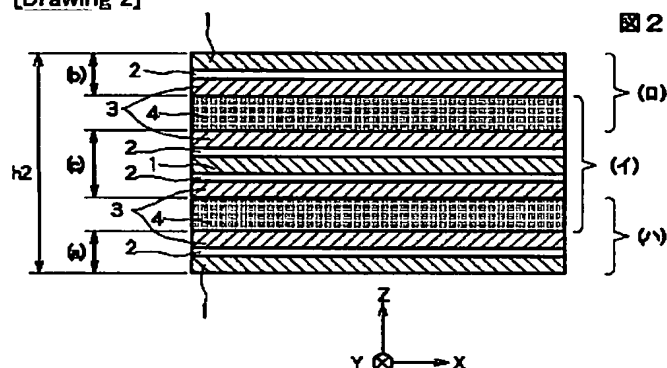
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

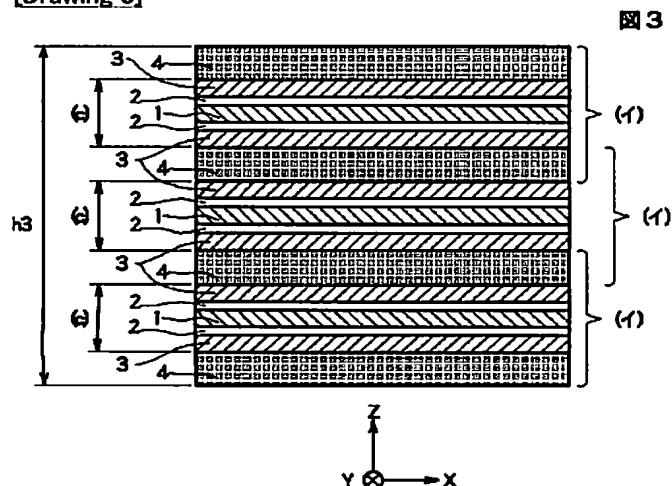
[Drawing 1]



[Drawing 2]

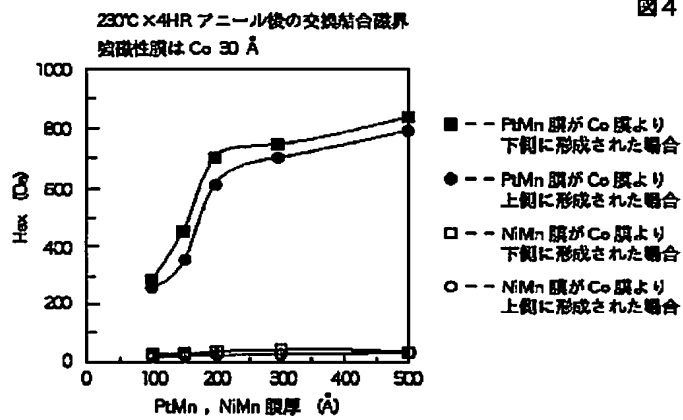


[Drawing 3]



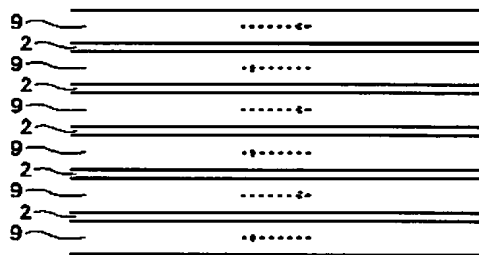
[Drawing 4]

図 4



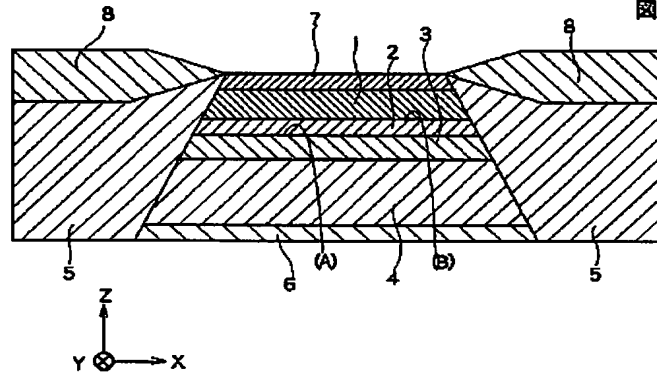
[Drawing 5]

図 5



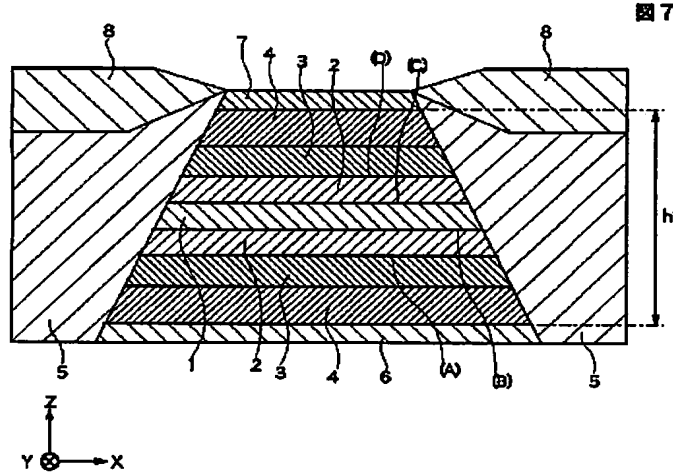
[Drawing 6]

図 6



[Drawing 7]

図 7



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-177706

(43) 公開日 平成10年(1998) 6月30日

(51) Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

G 1 1 B 5/39

H 0 1 F 10/08

H 0 1 F 10/08

H 0 1 L 43/08

H 0 1 L 43/08

Z

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平8-334142

(22) 出願日

平成8年(1996)12月13日

(71) 出願人

000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72) 発明者

斎藤 正路

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ

ス電気株式会社内

(74) 代理人

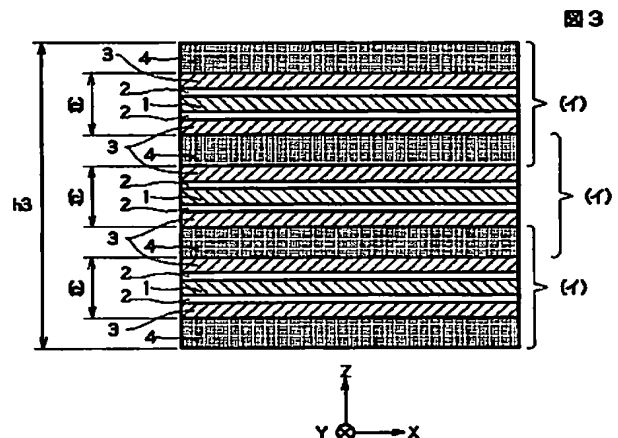
弁理士 野▲崎▼ 照夫

(54) 【発明の名称】 スピンバルブ型薄膜素子

(57) 【要約】

【課題】 デュアル型のスピンバルブ膜は7層で構成されているが、さらに層の総数を増やし電子散乱の起こる場所を増やせば抵抗変化率は向上すると推測される。しかし、層の総数を増やせばスピンバルブ膜の膜厚は大きくなり、磁気ギャップ長は大きくなる。従来では反強磁性層にNiMn合金が使用されており、前記反強磁性層の膜厚は数百オングストロームと大きくなっていた。また、交換異方性磁界を発揮させるための熱処理温度が高く、非磁性導電層と固定磁性層の界面の拡散を生じやすくなっていた。

【解決手段】 スピンバルブ膜の反強磁性層4にPtMn膜を使用する。これにより比較的低い熱処理温度で、しかも前記反強磁性層4の膜厚を小さくしても十分な交換異方性磁界を得ることができる。よってスピンバルブ膜の層の総数を増やして抵抗変化率を大きくすることができると同時にスピンバルブ膜の総合膜厚h3を比較的小さくできる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 反強磁性層との交換異方性結合により磁化が一定の方向に固定される固定磁性層と、磁気記録媒体からの洩れ磁界により磁化の方向が変動するフリー磁性層とを有するスピバルブ型薄膜素子において、フリー磁性層の上に非磁性導電層、固定磁性層が連続して積層された第1の多層膜と、固定磁性層の上に非磁性導電層、フリー磁性層が連続して積層された第2の多層膜とを有し、前記第1の多層膜の上に反強磁性層を介して前記第2の多層膜が積層されており、前記第1の多層膜と第2の多層膜に定常電流を与える導電層が設けられていることを特徴とするスピバルブ型薄膜素子。

【請求項2】 反強磁性層との交換異方性結合により磁化が一定の方向に固定される固定磁性層と、磁気記録媒体からの洩れ磁界により磁化の方向が変動するフリー磁性層とを有するスピバルブ型薄膜素子において、フリー磁性層の上に非磁性導電層、固定磁性層が連続して積層された第1の多層膜と、固定磁性層の上に非磁性導電層、フリー磁性層が連続して積層された第2の多層膜と、固定磁性層の上に、非磁性導電層、フリー磁性層、非磁性導電層、および固定磁性層が積層された5層から成る第3の多層膜とを有し、前記第1の多層膜の上に反強磁性層を介して前記第3の多層膜が積層され、この第3の多層膜の上に反強磁性層を介して前記第2の磁性層が積層されており、前記第1の多層膜と第2の多層膜および第3の多層膜に定常電流を与える導電層が設けられていることを特徴とするスピバルブ型薄膜素子。

【請求項3】 反強磁性層との交換異方性結合により磁化が一定の方向に固定される固定磁性層と、磁気記録媒体からの洩れ磁界により磁化の方向が変動するフリー磁性層とを有するスピバルブ型薄膜素子において、固定磁性層の上に、非磁性導電層、フリー磁性層、非磁性導電層、および固定磁性層が積層された5層から成る多層膜を有し、前記多層膜が反強磁性層を介して複数段に積層され、且つ最下段の多層膜の最下層となる固定磁性層の下側と、最上段の多層膜の最上層となる固定磁性層の上側とに反強磁性層が積層されており、前記各多層膜に定常電流を与える導電層が設けられていることを特徴とするスピバルブ型薄膜素子。

【請求項4】 フリー磁性層の磁化方向を、前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に揃えるバイアス層が多層膜の両側部に形成されている請求項1ないし3のいずれかに記載のスピバルブ型薄膜素子。

【請求項5】 反強磁性層はPtMn（白金—マンガン）合金で形成される請求項1ないし4のいずれかに記載のスピバルブ型薄膜素子。

【請求項6】 反強磁性層は、Pt—Mn—X（XはNi, Pd, Rh, Ru, Ir, Cr, Fe, Coのいずれか）合金で形成される請求項1ないし4のいずれかに記載のスピバルブ型薄膜素子。

【請求項7】 反強磁性層は、PdMn（パラジウム—マンガン）合金で形成される請求項1ないし4のいずれかに記載のスピバルブ型薄膜素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、固定磁性層（ピン磁性層）の磁化の方向と外部磁界の影響を受けるフリー磁性層の磁化の方向との関係で電気抵抗が変化するスピバルブ型薄膜素子に係り、スピバルブ膜の構造及び材質を改良して、検出感度を高め且つ高密度化記録に対応できるようにしたスピバルブ型薄膜素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】巨大磁気抵抗（GMR：Giant magnetoresistive）効果を発揮する多層構造には、スピバルブ方式やマルチレイヤ（Multilayer）GMR方式などがある。図5はマルチレイヤGMR素子を示す断面図である。マルチレイヤGMR素子は、下から強磁性材料の層9と非磁性導電層2とが何層にも繰り返して積層された構造となっている。なお、前記強磁性材料の層9には、NiFe（ニッケル—鉄）系合金やCoFe（コバルト—鉄）系合金などが用いられ、非磁性導電層2には、Cu（銅）が一般に使用される。

【0003】非磁性導電層2を介して上下に強磁性材料の層9が積層され、特に前記非磁性導電層2の膜厚が10～20オングストローム程度で形成されると、RKKY相互作用により、上下の強磁性材料の層9の磁化方向は反平行に単磁区化されて揃えられる。このマルチレイヤGMR素子では、ハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界が与えられると、前記強磁性材料の層9の磁化が洩れ磁界と同一方向に変化する。前記強磁性材料の層9の磁化方向の変動により電気抵抗が変化し、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、磁気記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0004】ところで、このマルチレイヤGMR素子の抵抗変化率は、外部磁界が数十Oeから数千Oeであると約10～30%程度になる。抵抗変化率が非常に大きくなるのは、電子散乱を起す場所が非常に多いためである。またこの抵抗変化率を引き出すために非常に大きい外部磁界が必要になるが、これは、強磁性材料の層9の磁化方向がRKKY相互作用により反平行となり強固に固定されているためである。なお、この抵抗変化率から面記録密度を計算してみたところ、100（Gb/in<sup>2</sup>）程度までの面記録密度対応が可能であることがわかった。ただし、数Oeの比較的弱い外部磁界が与えられた場合には、マルチレイヤGMR素子の抵抗変化率は、スピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率よりも小さくなることが確認されている。

【0005】図6はシングルスピバルブ型薄膜素子の断面図である。巨大磁気抵抗効果を発揮するスピバルブ膜は、下から反強磁性層4、固定磁性層（ピン磁性



層) 3、非磁性導電層2及びフリー磁性層1の4層で構成されている。また、図7はデュアルスピバルブ型薄膜素子の断面図である。デュアルスピバルブ型薄膜素子におけるスピバルブ膜は、フリー磁性層1を中心にして上下対象に、非磁性導電層2、2、固定磁性層(ピン磁性層)3、3および反強磁性層4、4が積層されて構成されている。また、図6及び図7に示すようにスピバルブ膜の両側には、ハードバイアス層5、5が形成されている。なお、符号6、7はTa(タンタル)などの非磁性材料で形成された下地層および保護層で、符号8は導電層である。

【0006】前記固定磁性層3は前記反強磁性層4と接して形成され、前記固定磁性層3は、前記反強磁性層4との界面での交換結合による交換異方性磁界により、Y方向に単磁区化され、磁化の方向がY方向に固定される。前記交換異方性磁界は、磁界を与えながら熱処理を施すことにより前記反強磁性層4と前記固定磁性層3との界面において生じる。また、X方向に磁化されているハードバイアス層5の影響を受け前記フリー磁性層1の磁化方向はX方向へ揃えられる。ハードバイアス層5によりフリー磁性層1が所定方向に単磁区化されることによって、バルクハウゼンノイズの発生を防止することができる。

【0007】なお、フリー磁性層1および固定磁性層3としては、マルチレイヤGMR素子の強磁性材料の層9と同じNiFe系合金やCoFe系合金、非磁性導電層2としてはCu(銅)膜が一般に用いられる。また、反強磁性層4を構成する反強磁性材料として、FeMn

(鉄—マンガン)合金膜が一般的であるが、前記FeMn合金膜は、固定磁性層3の下に成膜されると、固定磁性層3との界面において交換結合が十分に発揮できないという性質を有している。そのため、反強磁性層4、4が固定磁性層3、3の上と下の双方に成膜される構造となるデュアルスピバルブ型薄膜素子では、反強磁性層4、4が固定磁性層3、3に対して上下どちらに形成されても交換異方性磁界を得ることができる反強磁性材料を使用する必要がある。従来ではそのような反強磁性材料としてNiMn(ニッケル—マンガン)合金が使用可能であるとされていた。

【0008】これらスピバルブ型薄膜素子では、ハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界がY方向に与えられると、フリー磁性層1の磁化がX方向からY方向へ向けて変化する。前記フリー磁性層1の磁化方向が変化すると、フリー磁性層1と固定磁性層3との間で片方の層から他方の層へ移動しようとする電子が、非磁性導電層2とフリー磁性層1との界面、または非磁性導電層2と固定磁性層3との界面で散乱を起すことにより電気抵抗が変化し、この電気抵抗の変化に基づく電圧変化により、磁気記録媒体からの洩れ磁界が検出される。フリー磁性層1の磁化の方向と固定磁性層3の磁化の方向と

の角度が最も大きくなったとき、すなわち反平行になったときに、前記電気抵抗値は最大値を示し、前記フリー磁性層1の磁化の方向と固定磁性層3の磁化の方向が同じになったときに、前記電気抵抗値は最少値を示す。記録媒体からの洩れ磁界が与えられたときに、抵抗変化率 $\{(最大電圧値-最少電圧値)/最少電圧値\}$ が大きくなればなるほど、薄膜磁気ヘッドの検出出力は大きくなる。

【0009】また、前記検出出力は定常電流(センス電流)の大きさにも依存し、前記定常電流が大きくなればなるほど、前記検出出力は大きくなる。ただし、フリー磁性層1、非磁性導電層2及び固定磁性層3を流れる電流密度があまりにも大きいとジュール熱による検出出力の低下や信頼性及び耐久性などに問題が生じ、スピバルブ型薄膜素子の特性は低下する。スピバルブ型薄膜素子の特性を良好に保つことのできる定常電流の上限値は、 $3 \times 10^7$  (A/cm<sup>2</sup>)であるとされている。なお、スピバルブ膜の層の総数を増やすことにより、定常電流の上限値を上げることができる。

【0010】シングルスピンバルブ型薄膜素子では、非磁性導電層2とフリー磁性層1の界面および非磁性導電層2と固定磁性層3の界面が、それぞれ1箇所ずつあり、電子散乱を起す場所は合計2箇所である。一方、図5に示すようなデュアルスピバルブ型薄膜素子では、非磁性導電層2とフリー磁性層1の界面および非磁性導電層2と固定磁性層3の界面は、それぞれ2箇所ずつあり、電子散乱を起す場所は合計4箇所である。このため、デュアルスピバルブ型薄膜素子の方がシングルスピンバルブ型薄膜素子に比べて抵抗変化率が大きくなる。数Oe(エルステッド)の外部磁界を与えてやると、前記シングルスピンバルブ型薄膜磁気ヘッドの抵抗変化率は3~9%程度となり、前記デュアルスピバルブ型薄膜磁気ヘッドの抵抗変化率は5~13%程度となることが確認されている。また、前記抵抗変化率から面記録密度を計算してみると、シングルスピンバルブ型では、10 (Gb/in<sup>2</sup>)程度までの面記録密度対応が可能であり、デュアルスピバルブ型では、20 (Gb/in<sup>2</sup>)程度までの面記録密度対応が可能である。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】高密度化記録に対応するには、面記録密度を向上させることが重要である。前記面記録密度を向上させるには、再生出力を高くすることが必要であり、また前記再生出力を高くするには、前記再生出力と比例の関係にある抵抗変化率を高くすることが必要である。図5に示すマルチレイヤGMR素子の場合、上述したように数千Oeの外部磁界を与えてやれば、抵抗変化率を最高値で約30%にできるが、外部磁界が非常に小さいと、マルチレイヤGMR素子の抵抗変化率は、スピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率よりも小さくなってしまふ。

【0012】さらに、マルチレイヤGMR素子の場合、スピンバルブ型薄膜素子のようにハードバイアス層を設けることはできず、バルクハウゼンノイズの発生を低減させることはできない。これは、仮にハードバイアス層を設けると、前記ハードバイアス層の磁化方向に全ての強磁性材料の層の磁化方向が揃えられ、従ってマルチレイヤGMR素子に外部磁界を与えても電気抵抗が変化せず記録媒体の洩れ磁界が検出できなくなるためである。

【0013】次に従来のスピンバルブ型薄膜素子においては、上述したようにシングルスピンバルブ型(図6)よりデュアルスピンバルブ型(図7)の方が抵抗変化率が高くなる。これは、電子散乱が起こる場所が、デュアルスピンバルブ型ではシングルスピンバルブ型の2倍存在するからである。ただし、デュアルスピンバルブ型の抵抗変化率は、シングルスピンバルブ型の抵抗変化率の2倍にまでにはならない。

【0014】図7に示すように、デュアルスピンバルブ型において電子錯乱が起こる場所は、フリー磁性層1と非磁性導電層2との界面(B)および界面(C)、固定磁性層3と非磁性導電層2との界面(A)および界面

(D)の合計4箇所存在する。これに対し図6に示すように、シングルスピンバルブ型において電子散乱が起こる場所は、界面(A)と界面(B)の2箇所のみである。しかし、デュアルスピンバルブ型の界面(B)で起こる電子散乱は、シングルスピンバルブ型の界面(B)で起こる電子散乱より弱くなっていると考えられる。これは、デュアルスピンバルブ型の場合、1層の前記フリー磁性層1が界面(B)と界面(C)の双方で電子錯乱を起こしているためである。従ってデュアルスピンバルブ型の抵抗変化率は、シングルスピンバルブ型の抵抗変化率より大きくなるものの、2倍までには至らない。

【0015】また、図7に示すようにデュアルスピンバルブ型では、反強磁性層4として、前記反強磁性層4の上下どちらに固定磁性層3が積層されても交換異方性磁界を発生できる反強磁性材料を使用することが好ましい。このような反強磁性材料としてNiMn合金を例示できる。しかしこの従来のスピンバルブ型薄膜素子には、以下の問題点がある。反強磁性層4としてNiMn系合金膜を用いると、前記NiMn系合金膜とFeNi系合金膜(固定磁性層3)との間で有効な交換結合を発揮させるためには、250℃以上の比較的高い温度での加熱処理(アニール)が必要になる。

【0016】ところが、250℃以上の高温の熱処理を行なうと、NiFe合金膜で形成されているフリー磁性層1と固定磁性層3と、Cuで形成されている非磁性導電層2の界面において、金属元素の拡散が発生し、フリー磁性層1と非磁性導電層2の界面および、固定磁性層3と非磁性導電層2との界面での電子拡散による磁気抵抗効果に影響が出て、外部磁界に対する抵抗変化率が低下する問題がある。また、高密度化記録に対応するに

は、面記録密度を向上させると同時に磁気ギャップ長G1を小さくすることも重要であるが、NiMn系合金膜で反強磁性層を形成すると、前記反強磁性層の膜厚を数百オングストローム程度にしなければ良好な交換異方性磁界を得ることができない。したがって、図5に示す多層膜の厚さ寸法h'が大きくなることを避けることができず、磁気ギャップ長G1を小さくすることができない。ちなみに、フリー磁性層1、非磁性導電層2および固定磁性層3の膜厚はそれぞれ数十オングストローム程度である。

【0017】本発明は従来のマルチレイヤGMR素子および従来のシングルスピンバルブ型薄膜素子、デュアルスピンバルブ型薄膜素子の問題点を解決し、マルチレイヤGMR素子に比べて小さい外部磁界でも十分な抵抗変化率が得られるようにし、さらにシングルスピンバルブ型薄膜素子やデュアルスピンバルブ型薄膜素子よりも大きな抵抗変化率を得られるようにして、小さい外部磁界に対して高感度であり、且つ高い検出力を得ることができるスピンバルブ型薄膜素子を提供することを目的としている。

【0018】また本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、反強磁性層をPtMn(白金-マンガン)合金などで形成することにより、反強磁性層による交換結合を発揮させるための熱処理温度を低くできるようにし、しかも反強磁性層の膜厚を小さくしても有効な交換異方性磁界を得ることができるようにして小ギャップ化が可能なスピンバルブ型薄膜素子を提供することを目的としている。

【0019】

【課題を解決するための手段】第1の本発明は、反強磁性層との交換異方性結合により磁化が一定の方向に固定される固定磁性層と、磁気記録媒体からの洩れ磁界により磁化の方向が変動するフリー磁性層とを有するスピンバルブ型薄膜素子において、フリー磁性層の上に非磁性導電層、固定磁性層が連続して積層された第1の多層膜と、固定磁性層の上に非磁性導電層、フリー磁性層が連続して積層された第2の多層膜とを有し、前記第1の多層膜の上に反強磁性層を介して前記第2の多層膜が積層されており、前記第1の多層膜と第2の多層膜に定常電流を与える導電層が設けられていることを特徴とするものである。

【0020】前記第1の発明は、図1に示すものである。このスピンバルブ型薄膜素子は、シングルのスピンバルブ膜(ハ)上に反強磁性層を共有してシングルのスピンバルブ膜(ロ)が積層された構造となっている。このためこのスピンバルブ型薄膜素子の抵抗変化率は、シングルスピンバルブ型薄膜素子(図6)の抵抗変化率(3~9%)よりも高くなり、またデュアルスピンバルブ型薄膜素子(図7)の抵抗変化率(5~13%)よりも高くなる。また定常電流の上限値を上げることが

できるため、シングルスピンバルブ型薄膜素子及びデュアルスピンバルブ型薄膜素子よりも高い磁気検出出力を期待できる。

【0021】第2の本発明は、反強磁性層との交換異方性結合により磁化が一定の方向に固定される固定磁性層と、磁気記録媒体からの洩れ磁界により磁化の方向が変動するフリー磁性層とを有するスピンバルブ型薄膜素子において、フリー磁性層の上に非磁性導電層、固定磁性層が連続して積層された第1の多層膜と、固定磁性層の上に非磁性導電層、フリー磁性層が連続して積層された第2の多層膜と、固定磁性層の上に、非磁性導電層、フリー磁性層、非磁性導電層、および固定磁性層が積層された5層から成る第3の多層膜とを有し、前記第1の多層膜の上に反強磁性層を介して前記第3の多層膜が積層され、この第3の多層膜の上に反強磁性層を介して前記第2の磁性層が積層されており、前記第1の多層膜と第2の多層膜および第3の多層膜に定常電流を与える導電層が設けられていることを特徴とするものである。

【0022】前記第2の発明は、図2に示すものである。このスピンバルブ膜は、シングルスピンバルブ膜(ハ)上に反強磁性層を共有してデュアル型のスピンバルブ膜(イ)が積層され、さらに前記スピンバルブ膜(イ)上に反強磁性層を共有してシングルスピンバルブ膜(ロ)が積層された構造となっている。よって、このスピンバルブ型薄膜素子の抵抗変化率はデュアル型のスピンバルブ素子よりも高くなる。また、このスピンバルブ型薄膜素子の再生出力は、抵抗変化率が高くなることと、定常電流の上限値が上げられることにより、シングルスピンバルブ型薄膜素子の再生出力の約3倍程度あるいはそれ以上を期待できる。

【0023】第3の本発明は、反強磁性層との交換異方性結合により磁化が一定の方向に固定される固定磁性層と、磁気記録媒体からの洩れ磁界により磁化の方向が変動するフリー磁性層とを有するスピンバルブ型薄膜素子において、固定磁性層の上に、非磁性導電層、フリー磁性層、非磁性導電層、および固定磁性層が積層された5層から成る多層膜(第3の多層膜)を有し、前記多層膜が反強磁性層を介して複数段に積層され、且つ最下段の多層膜の最下層となる固定磁性層の下側と、最上段の多層膜の最上層となる固定磁性層の上側とに反強磁性層が積層されており、前記各多層膜に定常電流を与える導電層が設けられていることを特徴とするものである。

【0024】上記第3の発明は図3に示すものである。これはデュアル型のスピンバルブ膜(イ)を、複数段重ね、それぞれのデュアル型のスピンバルブ膜間で反強磁性層を共有した形状である。このスピンバルブ型薄膜素子の抵抗変化率は、従来のデュアル型スピンバルブ薄膜素子の抵抗変化率よりも高くなり、またこのスピンバルブ型薄膜素子の再生出力は、抵抗変化率が高くなることと、定常電流の上限値を上げられることからデュアル型

スピンバルブ薄膜素子の再生出力の2倍以上を期待できる。

【0025】また、第1ないし第3の発明では、いずれも反強磁性層との交換異方性結合により、固定磁性層の磁化が固定され、磁気記録媒体からの洩れ磁界のような外部磁界によりフリー磁性層の磁化の方向が変化して抵抗変化率が得られるものとなっているため、従来のシングルスピンバルブ型やデュアルスピンバルブ型と同様に数Oeの磁界により抵抗変化を起こさせることができ、数十～数千Oeの外部磁界を与えないと抵抗変化を得ることのできないマルチレイヤGMR素子よりも実用性がある。

【0026】なお、上述した本発明のスピンバルブ型薄膜素子において、フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層と交叉する方向に揃えるバイアス層をスピンバルブ膜の多層膜の両側部に形成することが好ましい。ハードバイアス層が形成されることでバルクハウゼンノイズの発生を抑制することができる。バイアス層を設けてバルクハウゼンノイズを低減させた薄膜素子は、ハードディスクなどの磁気記録媒体からの洩れ磁界を検出する磁気ヘッドに用いることができる。また本発明では必ずバイアス層を設ける必要がなく、バイアス層の無いものは、バルクハウゼンノイズの影響を気にしないでよい磁気センサなどとして用いることができる。

【0027】また、反強磁性層はPtMn(白金—マンガ)合金で形成されることが好ましいが、前記PtMn合金に代えて、Pt—Mn—X(ただし、Xは、Ni, Pd, Rh, Ru, Ir, Cr, Fe, Coのいずれか)合金、あるいはPdMn合金で形成してもよい。

【0028】前記反強磁性層としてPtMn系の合金膜またはPdMn合金膜を使用すると、固定磁性層が反強磁性層の上に成膜されたときと下に成膜されたときの双方で交換異方性結合ができ、反強磁性層の上下に位置する固定磁性層の磁化を固定できる。さらに成膜後の熱処理温度が230℃以下でも十分な交換異方性磁界を得ることができる。そのため、前記熱処理において、非磁性導電層と、固定磁性層及びフリー磁性層との界面での拡散を防止でき、外部磁界に対して高い抵抗変化率を得ることができる。

【0029】また、前記材料で形成した反強磁性層は、膜厚が100オングストローム程度と非常に小さくても、300Oe(エルステッド)程度の交換異方性磁界を得られることが確認されている。よって多層構造のスピンバルブ膜を薄型化することが可能である。

【0030】また、PtMn合金膜は、FeMn合金膜やNiMn合金膜に比べて耐食性が優れており、スピンバルブ型薄膜素子の製造工程における各種の溶剤や洗浄剤においても腐食が全く進行せず、過酷な環境下での薄膜磁気ヘッドの動作においても化学的に安定している。

【0031】さらに、PtMn合金膜と固定磁性層とが

接することにより得られた交換異方性磁界は熱的に極めて安定であり、ブロッキング温度が380℃程度に高く、よって薄膜磁気ヘッドの動作時の温度が高くても、安定した交換異方性磁界を発生でき、読み取り精度が安定する。

【0032】本発明では、反強磁性層における反強磁性材料にPtMn合金膜を使用することにより、反強磁性層の膜厚を従来より小さくできる。従ってスピバルブ膜の層の総数を増やしても、前記スピバルブ膜の総合膜厚が極端に大きくなることなく、磁気ギャップ長G1の狭小化を実現できる。

【0033】

【発明の実施の形態】図1は、本発明のスピバルブ型薄膜素子の構造を示す断面図である。この薄膜素子は、ハードディスク装置に設けられるスライダのトレーリング側端部などに設けられるものであり、ハードディスクなどの磁気記録媒体の移動方向はZ方向であり、磁気記録媒体からの洩れ磁界の方向はY方向である。図1の最も下に形成されているのはTa（タンタル）などの非磁性材料で形成された下地層6である。この下地層6上に、7つの層で構成されるスピバルブ膜が積層されている。なお、符号7はTaで形成された保護層である。

【0034】前記スピバルブ膜は、下からNiFe（ニッケル—鉄）系合金で形成されたフリー磁性層1、Cu（銅）などで形成された非磁性導電層2、NiFe系合金で形成された固定磁性層3、及びPtMn（白金—マンガン）合金で形成された反強磁性層4が連続して積層され、その上に、固定磁性層3、非磁性導電層2及びフリー磁性層1が連続して積層されて構成されている。前記において、フリー磁性層1上に非磁性導電層2及び固定磁性層3が連続して積層され3層を第1の多層膜（a）、固定磁性層3上に非磁性導電層2及びフリー磁性層1が連続して積層された3層を第2の多層膜

（b）とすれば、前記スピバルブ膜は、第1の多層膜（a）上に、反強磁性層4を共有して第2の多層膜（b）が積層された構造となっている。

【0035】また、実際の薄膜磁気ヘッドが構成されるときには、高透磁率の磁性材料の下部シールド層（図示しない）の上に非磁性材料の下部ギャップ層（図示しない）が形成され、この下部ギャップ層の上に図1に示す各層が形成され、さらにその上に非磁性材料の上部ギャップ層（図示しない）および高透磁率の磁性材料で上部シールド層（図示しない）が形成される。そして、前記下部シールド層と前記上部シールド層との間隔により磁気ギャップ長G1が決定される。前記反強磁性層4と固定磁性層3とが積層された後に、Y方向へ磁界中で熱処理（アニール処理）を施すことにより、前記両層の界面で交換異方性磁界が得られ、前記固定磁性層の磁化の方向がy方向に単磁区化され固定される。なお、前記固定磁性層3をCo（コバルト）、Fe—Co（鉄—コバル

ト）合金、Fe—Co—Ni（鉄—コバルト—ニッケル）合金で形成してもよい。

【0036】下地層6から保護層7までの多層膜がスパッタにより成膜され、所定断面形状にエッチングされた後に、前記フリー磁性層1にX方向の縦バイアス磁界を与えるハードバイアス層5が形成される。前記ハードバイアス層5はX方向に磁化され、このハードバイアス層5から与えられる磁界によりフリー磁性層1の磁化がX方向に揃えられる。この、ハードバイアス層5を設けることにより、バルクハウゼンノイズの発生を低減させることができる。また、ハードバイアス層5、5の上にW（タングステン）、Cu（銅）などにより形成された導電層8、8が形成される。

【0037】このようにして形成されたスピバルブ型薄膜素子では、導電層8からフリー磁性層1、非磁性導電層2及び固定磁性層3に定常電流（センス電流）が与えられ、しかも記録媒体からY方向へ磁界が与えられると、フリー磁性層1の磁化の方向がX方向からY方向へ向けて変化する。このとき、フリー磁性層1と固定磁性層3のうち片方の層から他方へ移動しようとする電子が、非磁性導電層2とフリー磁性層1との界面、または非磁性導電層2と固定磁性層3との界面で散乱を起こし、電気抵抗が変化する。よって定常電流が変化し、検出出力を得ることができる。

【0038】前述したように、図1におけるスピバルブ膜は7層で構成されており、これは図5に示すデュアルスピバルブ型薄膜素子におけるスピバルブ膜の層の総数と同じである。しかし図1に示す7層のスピバルブ膜の総合膜厚h1は、図5の7層のスピバルブ膜の総合膜厚h'よりも小さくなっている。これは、フリー磁性層1、非磁性導電層2及び固定磁性層3の膜厚に比べて膜厚の大きい反強磁性層4が、図5では2層形成されているのに対し、図1では1層しか形成されていないためである。総合膜厚h1が小さくなることにより、磁気ギャップ長G1の狭小化を実現できる。

【0039】また、図1のスピバルブ膜は、シングル型のスピバルブ膜（ハ）上に反強磁性層4を共有してもう1つのシングル型のスピバルブ膜（ロ）が積層された構造となっているため、図1のスピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率及び再生出力は、シングルスピンバルブ型薄膜素子の抵抗変化率（3～9%）及び再生出力よりも十分に大きくなり、さらに図5に示すデュアルスピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率（5～13%）よりも大きな抵抗変化率、及び再生出力を期待できる。

【0040】図1におけるスピバルブ膜では、フリー磁性層1が2層設けられており、それぞれのフリー磁性層1が非磁性導電層2と界面（B）（C）を形成している。これに対し、図5のスピバルブ膜では、フリー磁性層1が1層で非磁性導電層2と界面（B）（C）を形成しており、1層のフリー磁性層1が界面（B）（C）

における双方の電子散乱に参与している。このため、図 1 の界面 (B) (C) で起こる電子散乱は、図 5 の界面 (B) (C) で起こる電子散乱に比べて強くなっており、従って図 1 におけるスピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率は、図 5 のデュアルスピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率に比べて大きくなることが予測できる。また、抵抗変化率と定常電流の上限値から面記録密度を計算してみると、図 1 におけるスピバルブ型薄膜素子の面記録密度は  $20 \text{ (Gb/in}^2\text{)}$  以上を期待できることがわかった。

【0041】図 2 は、本発明の第 2 の実施形態によるスピバルブ膜の構造を示す正面図である。なお図 2 は成膜後のスピバルブ膜を示しており、図 1 で説明したようにこの後に、前記スピバルブ膜が所定形状にエッチングされ、ハードバイアス層 5 や導電層 8 が形成される。また図 2 では、下地膜 (図 1 の符号 6) および保護膜 (図 1 の符号 7) も省略している。図 2 に示すスピバルブ膜は 13 層で構成されている。下部には図 1 で説明した第 1 の多層膜 (a) が、上部に第 2 の多層膜 (b) が設けられている。また、下から固定磁性層 3、非磁性導電層 2、フリー磁性層 1、非磁性導電層 2、固定磁性層 3 が積層された 5 層構造の第 3 の多層膜 (c) が設けられている。そして、第 1 の多層膜 (a) の上に反強磁性層 4 を介して第 3 の多層膜 (c) が積層され、さらにその上に反強磁性層 4 を介して第 2 の多層膜 (b) が積層されている。

【0042】各多層膜 (a) (b) (c) の固定磁性層 3 は、必ず反強磁性層 4 の上面または下面に接して形成され、前記固定磁性層 3 の磁化は前記反強磁性層 4 との界面にて発生する交換異方性磁界により Y 方向へ単磁区化されている。また、フリー磁性層 1 の磁化はハードバイアス層 5 のバイアス磁界により、前記固定磁性層 3 の磁化方向と交叉する X 方向へ揃えられている。反強磁性層 4 を構成する反強磁性材料には、PtMn 合金膜が使用される。反強磁性層 4 として PtMn 合金膜を使用することにより、成膜後の熱処理温度が  $230^\circ\text{C}$  以下でも十分な交換異方性磁界を得ることができ、且つ前記反強磁性層 4 の膜厚を  $100 \text{ \AA}$  程度にしても、 $3000 \text{ Oe}$  (エルステッド) 程度の交換異方性磁界を得ることが可能となる。反強磁性層 4 の膜厚を  $100 \text{ \AA}$  程度にできるため、スピバルブ膜の総合膜厚  $h_2$  が極端に大きくなることはない。なお、図 1 に示す反強磁性層 4 も PtMn 合金膜で形成されることが好ましく、この反強磁性材料を用いることにより、図 1 に示す膜厚  $h_1$  も小さくできる。

【0043】図 2 のスピバルブ膜は、シングル型のスピバルブ膜 (ハ) 上に反強磁性層 4 を共有してデュアル型のスピバルブ膜 (イ) が積層され、さらに前記スピバルブ膜 (イ) 上に反強磁性層 4 を共有してシングル型のスピバルブ膜 (ロ) が積層された構造となつて

いる。つまり、フリー磁性層 1 と非磁性導電層 2 との界面、及び固定磁性層 3 と非磁性導電層 2 との界面はそれぞれ 4 箇所あり、電子散乱が起こる場所は合計 8 箇所ある。

【0044】このため図 2 におけるスピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率及び再生出力は、従来のシングルスピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率及び再生出力の約 4 倍程度、従来のデュアルスピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率及び再生出力の約 2 倍程度を期待できる。また抵抗変化率及び定常電流の上限値から可能な面記録密度を計算してみると、図 2 におけるスピバルブ膜を使用したスピバルブ型薄膜素子の面記録密度は最高値で  $50 \text{ (Gb/in}^2\text{)}$  程度を期待できることがわかった。

【0045】図 3 は、本発明の第 3 の実施形態によるスピバルブ膜の構造を示す正面図である。なお図 3 は成膜後のスピバルブ膜を示しており、図 1 で説明したようにこの後に、前記スピバルブ膜が所定形状にエッチングされ、ハードバイアス層 5 や導電層 8 が形成される。また図 3 では、下地膜 6 と保護膜 7 も省略している。図 3 に示すスピバルブ膜は、図 2 において説明した 5 層構造の第 3 の多層膜 (c) が複数段に設けられている。それぞれの多層膜 (c) 間には反強磁性層 4 が挟まれ、上下の多層膜の固定磁性層 3 の上面および下面にはそれぞれ反強磁性層 4 が形成され、全体では、前記反強磁性層 4 が 4 回、多層膜 (c) が 3 回連続して積層された構造となっている。

【0046】反強磁性層 4 は PtMn 合金で形成されており、前記反強磁性層 4 の膜厚は  $100 \text{ \AA}$  程度となっている。このため、スピバルブ膜の総合膜厚  $h_3$  は極端に大きくない。また、前記スピバルブ膜は、デュアル型のスピバルブ膜 (イ) 上に反強磁性層 4 を共有してデュアル型のスピバルブ膜 (イ) が積層され、さらに前記スピバルブ膜 (イ) 上に反強磁性層 4 を共有してデュアル型のスピバルブ膜 (イ) が積層されている。つまり、3 つのデュアル型のスピバルブ膜 (イ) が連続して積層されたような構造となっている。

【0047】よってフリー磁性層 1 と非磁性導電層 2 との界面、及び固定磁性層 3 と非磁性導電層 2 との界面はそれぞれ 6 箇所あり、電子散乱が起こる場所は合計 12 箇所ある。このため図 3 におけるスピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率及び再生出力は、従来のシングルスピバルブ型薄膜素子及びデュアルスピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率及び再生出力よりもかなり高くなっている。また、図 3 に示すスピバルブ型薄膜素子の抵抗変化率は、マルチレイヤ GMR 素子の抵抗変化率より低くなるものの、マルチレイヤ GMR 素子の場合、高い抵抗変化率を引き出すには、数千  $\text{Oe}$  程度の外部磁界が必要であったのに対し、図 3 に示すスピバルブ膜であれば、非常に小さい外部磁界で比較的高い抵抗変化率を引

きだすことができる。

【0048】非常に小さい外部磁界で高い抵抗変化率を得られる理由は、フリー磁性層1の磁化が、強固に固定されていないためであり、よって小さい外部磁界でもフリー磁性層1の磁化の方向は変動し、このフリー磁性層1内の磁化の変動と固定磁性層3の固定磁化方向との関係で電気抵抗値が変化し、この電気抵抗値に基づく電圧変化により磁気記録媒体からの洩れ磁界が検出される。またマルチレイヤGMR素子の場合、ハードバイアス層を設けることが不可能であったが、図3に示すスピンバルブ膜には前記ハードバイアス層を設けることができ、バルクハウゼンノイズの発生を低減させることができる。また、本発明において、さらに抵抗変化率及び再生出力を向上させるために、図3に示すスピンバルブ膜の上にさらにデュアル型のスピンバルブ膜(イ)を何層か積層していくことが可能である。

【0049】ただし、前記スピンバルブ膜の総膜厚 $h_3$ には上限値があり、それは予め決められた下部シールド層(図示しない)と上部シールド層(図示しない)との間の間隔により決定される。そこで、下部シールドと上部シールドとの間隔の上限値まで、図3に示すスピンバルブ膜にさらにデュアル型のスピンバルブ膜(イ)を積層していくと、前記スピンバルブ膜の抵抗変化率及び再生出力を更に高めることが可能である。なお、抵抗変化率と定常電流の上限値から可能な面記録密度を計算してみると、図3におけるスピンバルブ膜を使用したスピンバルブ型薄膜素子の面記録密度は $50(\text{Gb}/\text{in}^2)$ から $100(\text{Gb}/\text{in}^2)$ 程度となり、マルチレイヤGMR素子と同程度の面記録密度を期待することができる。

【0050】

【実施例】以下に、反強磁性層4を形成する反強磁性材料と、固定磁性層3を形成する強磁性材料との交換結合についての実施例を説明する。まず以下に記載する構造の多層膜をDCマグネトロンスパッタ及びRFコンベンショナルスパッタにより(シリコン(Si)/アルミナ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )基板上に形成した。反強磁性層には、組成比がPt50原子%(at%)、Mn50原子%(at%)となるPtMn膜を使用し、

①下からTa/Co(30オングストローム)/PtMn(X)/Taの順に成膜され、PtMnの膜厚Xは100, 150, 200, 300, 500(オングストローム)で構成される5種類の多層膜。

②下からTa/PtMn(X)/Co(30オングストローム)/Taの順に成膜され、PtMnの膜厚Xは100, 150, 200, 300, 500(オングストローム)で構成される5種類の多層膜。

【0051】次に、反強磁性層には、組成比が、Ni50原子%(at%)、Mn50原子%(at%)となるNiMn膜を使用し、

③下からTa/Co(30オングストローム)/NiM

n(X)/Taの順に構成され、NiMnの膜厚Xは100, 150, 200, 300, 500, (オングストローム)で構成される5種類の多層膜。

④下からTa/NiMn(X)/Co(30オングストローム)/Taの順に成膜され、NiMnの膜厚Xは100, 150, 200, 300, 500, (オングストローム)で構成される5種類の多層膜。

【0052】前記多層膜において、反強磁性材料と、強磁性材料のCo膜との間の交換結合を得るために、230℃の温度で4時間熱処理を行った。交換異方性磁界(HeX)の測定は真空加熱機構付VSMにより行った。なお、反強磁性層として使用されたPtMn膜及びNiMn膜の比抵抗値は、いずれも $200(\mu\Omega\cdot\text{cm})$ 程度であった。

【0053】図4は、PtMn膜及びNiMn膜の膜厚と交換異方性磁界(HeX)との関係を示すグラフである。図に示すように、PtMn膜の膜厚が大きくなると、交換異方性磁界(HeX)も大きくなることがわかる。また、PtMn膜をCo膜の下に形成した場合の方が、PtMn膜をCo膜の上に形成した場合に比べて交換異方性磁界がやや大きくなっている。またPtMn膜の膜厚が100オングストローム程度であっても、約3000e(エルステッド)と比較的大きい交換異方性磁界を得られることが確認された。

【0054】一方NiMn膜の場合、膜厚を大きくしても、交換異方性磁界(HeX)は非常に小さいままであり、230℃の熱処理温度では、NiMn膜を使用できないことがわかる。NiMn膜を使用した場合、熱処理温度が250℃以上であれば、図4に示すPtMn膜の曲線と同じような挙動を示すことが確認されている。しかし、250℃以上になると、非磁性導電層2と固定磁性層3及びフリー磁性層1との界面で金属元素が拡散するという問題が生じるため、熱処理温度を230℃程度にすることが必要である。

【0055】また、本実験では、固定磁性層3にCo膜を使用した。Co膜に代えてNiFe膜を使用しても、本実験と同様の結果を得られる。以上により、反強磁性層としてPtMn膜を使用すれば、230℃程度の熱処理温度でも交換異方性磁界を得ることが可能であり、特に膜厚を100オングストローム程度にしても約3000eの交換異方性磁界を得ることが可能である。

【0056】

【発明の効果】以上詳述した本発明によれば、反強磁性層がPtMn合金またはこれと同種の性質を持つPdMn合金、あるいはPt-Mn-X(XがNi, Pd, Rh, Ru, Ir, Cr, Fe, Coのいずれか)合金で形成されることによって、比較的低い熱処理温度で、しかも比較的膜厚を小さくしても効果的な交換異方性磁界を得ることができる。

【0057】従来のシングルスピンバルブ型薄膜素子、

デュアルスピバルブ型薄膜素子、及びマルチレイヤ型GMR素子の構造を改良して、巨大磁気効果を発揮するスピバルブ膜の層の総数を従来よりも多くしても、反強磁性層にPtMn膜を使用すれば、前記スピバルブ膜の総膜厚を小さくでき、従って磁気ギャップ長 $G_1$ の狭小化を実現できる。

【0058】またスピバルブ膜の層の総数を増やして、電子散乱の起こる場所を増やせば、抵抗変化率及び再生出力を大きくすることができ、従って面記録密度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の形態によるスピバルブ型薄膜素子の断面図、

【図2】本発明の第2の形態によるスピバルブ膜の正面図、

【図3】本発明の第3の形態によるスピバルブ膜の正\*

\* 面図、

【図4】PtMn膜の膜厚またはNiMn膜の膜厚と交換異方性磁界との関係を示すグラフ、

【図5】マルチレイヤGMR素子の断面図、

【図6】シングルスピンバルブ型薄膜素子の断面図、

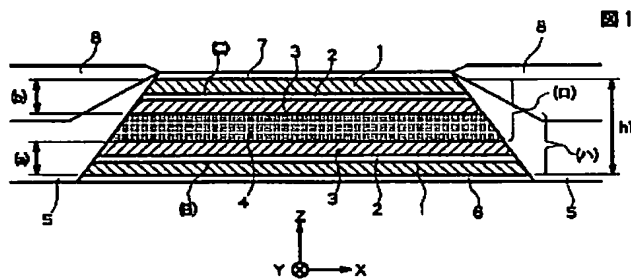
【図7】デュアルスピバルブ型薄膜素子の断面図、

【符号の説明】

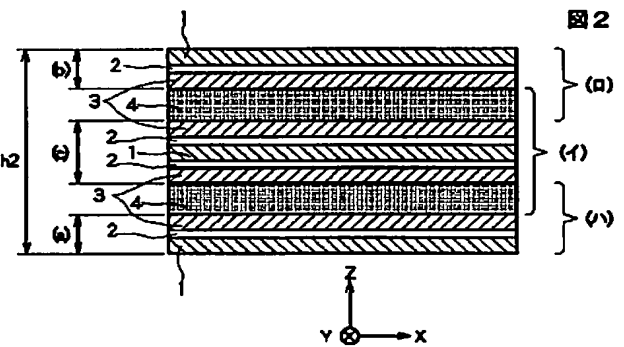
- 1 フリー磁性層
- 2 非磁性導電層
- 10 3 固定磁性層
- 4 反強磁性層
- 5 ハードバイアス層
- 6 下地層
- 7 保護層
- 8 導電層

$h_1, h_2, h_3$  (スピバルブ膜の) 総膜厚

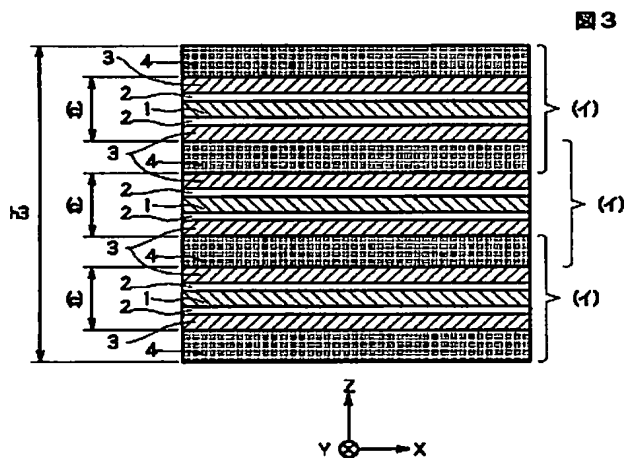
【図1】



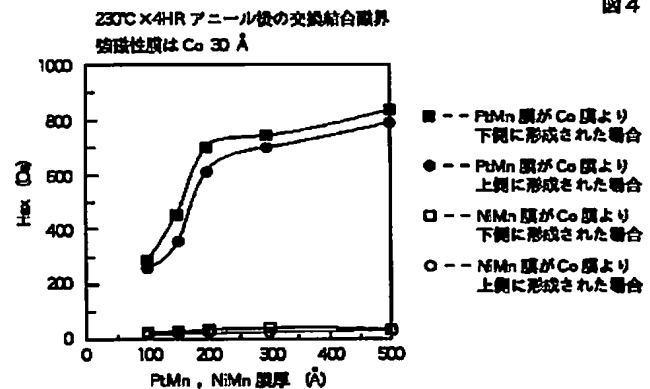
【図2】



【図3】

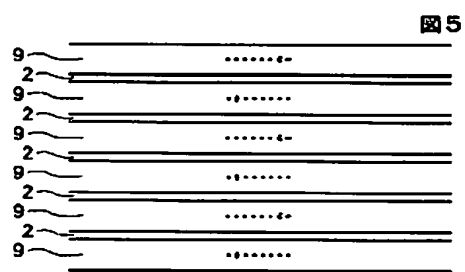


【図4】

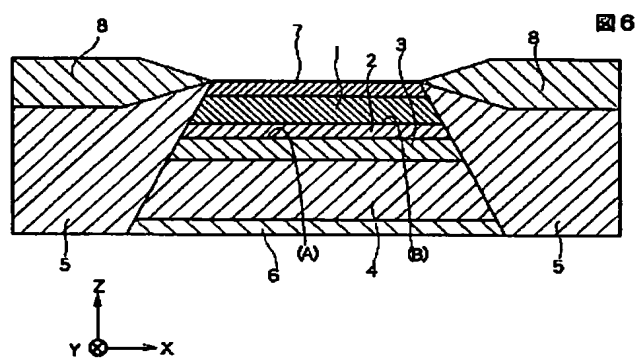




【図5】



【図6】



【図7】

